

動力學造形柱體之旋轉性動態錯視運動知覺研究

陳光大* 林志煒** 范熙文***

國立雲林科技大學數位媒體設計系

* gd196478@yahoo.com.tw

*** tncelny30061991@hotmail.com

** 國立雲林科技大學設計學研究所

copy1.copy2@msa.hinet.net

摘 要

本研究是從視覺心理學的角度，藉由心理物理法中的調整法實驗方式，從轉速閾值界限顯現的角度透過實驗的三項作業，探討動力學造形柱體邊數與旋轉轉速間的相互關係，以及柱體邊數、旋轉轉速和三種運動知覺間的因果關係。研究發現，不同邊數的動力學造形柱體在不同轉速搭配下，牽動了兩種視覺干擾現象的形成與強弱。這直接影響三種運動知覺在個別及整體柱體，上下絕對閾值界限與速度閾值範圍的顯現。三種運動知覺中，誘導運動速度閾值最大；似動運動最小，顯示誘導運動的動態錯視效果時間最長；似動運動最短。當轉速閾值由慢到快，依序會產生似動運動、誘導運動及運動殘像。似動運動表現最佳的是三角柱體；誘導運動表現最佳的是圓柱體；運動殘像表現最佳的是三角柱體。研究最後發現，不同柱體變化搭配不同轉速，受試者會在慢速區間出現「曖昧性運動知覺場域」；快速區間出現「空窗性運動知覺場域」。

關鍵詞：動力學造形、動態錯視、似動運動、誘導運動、運動殘像

論文引用：陳光大、林志煒、范熙文（2015）。動力學造形柱體之旋轉性動態錯視運動知覺研究。《設計學報》，20（3），1-19。

一、前言

在基礎造形領域中，關於動態表現的造形範疇就是「動力學造形」（kinetic art），也就是造形體藉著「運動」而顯示運動狀態的造形（福井晃一，1978）。它是以動力學（物理學）原理為基礎，結合現代科學與藝術的一種造形表現。動力學造形在三次元的靜態造形中加入「時間」要素，使其造形形態產生四次的動態表現效果與樣態，它比靜態造形更具視覺吸引力。其主要形式是運用各種不同的動力源（如風力、水力及馬達）來驅動造形體，使呈現真實運動狀態的造形體，隨著時間的改變而持續做空間上的位移（齋藤二郎，1992）。不過，動力學造形並非純粹只是造形上的變化而已，其造形本質不在於形，而是在於一種處於運動知覺與空間之中的造形形態。它藉由時間的推移及動力機構所產生的位移現

象，是會產生動態的造形表現與奇幻的視覺效果。而關於上述動力學造形的表現與運動知覺的涉入，是必須透過物理學、機構學與視覺心理學的跨領域整合與研究，以及結合各種動力學造形表現要素與運動樣態的開發，巧妙地將科學技術與藝術形態融合在創作中，並透過視覺心理學中的動態錯視效果，表達出有關「運動」的視覺表現。同時需要具備「實驗性」的探索精神與態度，利用各種技術與材料的組合，結合實徵性的實驗與研究，藉由更客觀的視覺生理與心理基礎資料及數據，有效發掘其造形表現的可能性，才可以在整體的動力學造形表現與研究上，有更好的成果展現與突破，使動力學造形在現代造形藝術與設計中，成為一門具理論與實作的專業領域。

事實上，在日常生活中已有越來越多的動力學造形被應用於立體展示設計上，如戶外活動看板、百貨公司櫥窗、商場展示陳設與城市戶外景觀、商業空間設計等。可見得動力學造形運用在視覺傳達設計上，可說是日與俱增及更加多元化，所以如何有效利用具動態錯視效果的動力學造形形態來發展創意，讓人們能夠實際體驗運動知覺原理所帶來的視覺效果，同時讓學理在我們的生活環境中共生共存，已是我們必須面對的課題。但綜觀目前國內外以基礎造形為主的相關動態錯視研究範疇，大部分仍僅止於平面或靜態造形表現的動態錯視研究。平面與靜態造形本身並不具備真實的運動狀態，因造形所引起的動態錯視效果，主要是依賴造形視覺性的錯視構造而知覺產生的，並非像動力學造形是在真實運動狀態下真正知覺到動態錯視效果（雖然有些研究會藉由數位影像技術去模擬動態錯視效果），所以嚴格講起來平面及靜態造形表現的動態錯視只是一種假的動態感知（陳瀚凱、林品章，2004）。相較於平面與靜態造形，真正以動力學造形表現做為動態錯視研究就顯得十分的稀少。其主因是，具「時間」要素的四次元動力學造形，在研究課題上必須考慮：「造形與運動形態的關係」、「運動與材料、形狀、材質的關係」、「運動的方式與形式」、「機構的傳達運動方式」、「動力的應用」等五個要素，之後才藉由動力學造形所呈現的動態錯視效果，探討視覺心理學中動態錯視研究所涉及各種運動知覺議題（陳光大、林志煒、范熙文，2014）。上述議題涉及到物理學、機構學與視覺心理學的跨領域整合與研究，但目前偏向平面與靜態造形表現的基礎造形教學與研究，欠缺對動力學造形表現的形態思維與構築能力，更缺乏結合不同學科領域的思維與認知，這樣的處境侷限了動力學造形的視覺表現與涉及的各種運動知覺研究，造成動力學造形相關研究至今仍未建構一個完整具系統性基礎理論。而對於動力學造形所關注的動態錯視「運動知覺」研究議題，也有別於目前動態錯視研究所涉獵的視覺效果、錯視量、差異性、表現形式、觀看歷程等研究議題。此外，在設計領域中，對於動態錯視也較少以心理物理實驗法的實徵性實驗方式來驗證相關視覺原理與現象。

動力學造形研究猶如基礎科學之於應用科學一般，同樣具有學術上之獨立研究領域與學術地位。目前由平面、立體、色彩、光等形成的相關視覺設計研究領域已大致確立，但在二十一世紀若要開發新的造形形態與視覺效果，那麼與科技結合的跨領域研究是不可缺少的重要方向之一。利用「運動」的形式來研究造形形態，學術上不僅有其必要，而且透過研究可以產生、研發出新的造形形態，可在體驗新造形形態效果的機會下，培養出美的秩序及對動力學造形的感受性。動力學造形研究的實驗過程與結果，不僅可強化藝術創作或設計實務中對於造形表現的理論基礎，並且在運動知覺方面的應用，對於動態視覺效果與作品之間的關聯性也會產生更多的刺激與火花。因此，綜合以上所述，本研究將藉由動力學造形所呈現出的動態錯視效果，去探討視覺心理學中動態錯視研究所涉及的各種運動知覺議題。本研究欲達成之目的說明如下：

1. 從視覺心理學的角度，藉由心理物理實驗法，運用馬達的旋轉特性，做為動力學造形旋轉性運動知覺表現的動力源，探討動力學造形柱體邊數與旋轉轉速間的相互關係，以及柱體邊數、旋轉轉速和三種運動知覺間的因果關係，以及產生動態錯視效果的運動認知程度。

2. 從轉速閾值界限顯現的角度，觀察不同類型的動力學造形柱體變化，是否影響動態錯視效果的表現及三種動態錯視運動知覺（似動運動、誘導運動、運動殘像）的形成、知覺反應與判別。
3. 建立人們觀看動力學造形動態錯視運動知覺時，更詳細的視覺生理與心理基礎資料及數據。

二、文獻探討

2-1 旋轉性運動的動態錯視效果

動力學造形的動態錯視效果與其他造形不同之處，在於動力學造形必須具有物理性或心理性的構造，讓動力學造形可藉由時間的改變及動力機構產生的位移現象，形成真實運動狀態的動態錯視效果（陳光大，2003a），而因動態錯視效果所引發的運動知覺，即是造形體隨著時間的變化，持續做空間上位移的運動中產生的（椎名健，1995）。這樣的空間位置變化是相對於某一靜止或同時移動的造形體而言，其空間位置的改變方式可能是一種點的移動，也可能是一種形的改變。動力學造形的表現形態依作品所產生的運動形態，可分為規則性運動與非規則性運動二大類。運動造形中的規則性運動，是指能遵循一定方向、位置與時間來進行運動，而依其運動方式可再區分為時間性運動、空間性運動與複合性運動三大類型。本研究所探討的動力學造形即是一種規則性的空間性運動方式，其運動形式是利用造形體的特有性質，加上運動時所產生的視知覺效應，就會使造形體產生不可思議的視覺效果。

空間性運動的運動形態，依照空間特性可區分為平面運動、旋轉運動與球面運動三種類型，旋轉形式的造形運動是動力學造形中最常使用的表現手法。旋轉（rotation）在幾何學的定義是一種剛性運動，整個物體或圖形固定圍繞著一點或轉動某個角度，在平面或空間中做變換或位移，而這一點可在圖形裡；也可在圖形之外（The Math Forum Drexel University & Wolk-Stanley, 2004）；而在運動學（kinematics）歐拉旋轉定理（Euler's rotation theorem）裡，是指在三維空間裡一剛體做位移運動時，約束剛體內部一點固定不動，則其任意位移等價於繞著某固定軸的一個旋轉，而這固定軸必包含這個固定點。旋轉方式根據其樣態可分為「依角度變化的旋轉」及「依速度持續性旋轉」兩種，利用角度變化的旋轉方式，是不會改變一個圖形的形狀，但會改變圖形各個部分的位置及其面對的方向。若是依速度持續性的旋轉方式，依據其旋轉速度的快慢與圖形本身的條件，透過眼睛與大腦的知覺判斷就會產生視覺上的動態錯視效果（陳光大，2003b），在本研究中所要探討的「旋轉」是指「依速度持續性旋轉」的動態表現形式，而非依角度變化的靜態表現形式。

在造形體的旋轉運動中，以動力機構做為動力源的動態造形表現時，馬達裝置是最常被使用的動力源之一。馬達具有：能正確的傳動與旋轉、擁有一定的出力、能控制其迴轉數等三種特色，利用馬達做為動力學造形的動力源，可比其他動力源有更規則的運動及自由的控制，在實徵性的研究中是可以獲得客觀的實驗數據。以馬達做為動力源的運動造形，依其時間性運動型態可分為「連續運動」、「反覆運動」與「間歇運動」三種（陳光大，2003b）。連續運動是藉由馬達本體的迴轉來運動，這是利用馬達的基本特性所呈現的運動形式，是運動的基本形態。本研究所探討之動態錯視效果的運動形式，即是藉由馬達具規則持續性的旋轉運動所產生的，在運動造形中要表現如同螺旋階梯般的迴轉運動狀態，必須利用旋轉運動與造形要素之間的互動關係來產生，即將連續性的線條圖形在動力學造形表面形塑出螺旋狀之後，搭配動力馬達所產生的旋轉性運動，使受試者在觀看動力學造形時，在視覺上產生一種向上爬升的動態知覺效果。雖然動力學造形表面的連續性線條圖形會因旋轉而處在模糊的狀態下，但連續性線條圖形仍有動態錯視效果的產生，因此仍然可視為運動現象（星加民雄，2006）。

2-2 動態錯視效果中的運動知覺

當物體在空間中產生位移或改變位置，而人們又能知覺這種變化時，就產生了該物體的運動知覺（劉英茂，1980）。運動知覺的產生，主要來自大腦視覺皮質區（visual cortex）中 MT 區域（medial temporal cortex，亦稱 V5）的作用（Zeki, 1978）。MT 區域是負責處理運動知覺的專化視覺區（specialised visual area），它對運動知覺的視覺訊號具功能專化的功能（functional specialization）（Zeki, 1974），有整合不同種類運動知覺的作用，是一種通用的運動偵測器（Zeki, 1999）。引起運動知覺的物體，在空間位移的速度是產生運動知覺的基本條件，它與時間知覺和空間知覺有不可分割的關係（時空關係就是運動）（Darley, Glucksberg, & Kinchla, 1991／楊語芸譯，1994）。物體運動的速度過慢或過快都不能引起運動知覺，速度過慢其產生的位移不被察覺，速度過快則無法看清物體的形像，高橋正人（1965／藝風堂編輯部譯，1992）的研究指出，視覺知覺到物體在運動的感覺閾（sensory threshold），刺激值在上限 600 公釐/秒至下限 0.6 公釐/秒之間，都可以知覺到運動知覺。

真實運動下的物體，在視網膜上的投影具有真實的位移。這樣的視網膜影像位移刺激，容易產生視覺錯誤或扭曲的現象，而這樣的視覺分歧與知覺現象（Wallschlaeger & Busic-Snyder, 1992／張建成、呂靜修譯，1996），引發了似動運動（apparent movement）、誘導運動（induced movement）及運動殘像（movement afterimage）等三種動態錯視運動知覺（Gregory, 1997／瞿錦春、張芬芬譯，2006）。似動運動是必須在具「視覺性間隔遮蔽效果」及「刺激物具備連續性特徵」的條件下，引起運動知覺的刺激物並沒實際運動，但在實際運動物體的帶動下，視覺上卻能知覺它在運動的錯覺現象。實際上刺激物在視網膜上的影像並未移動，而是刺激物快速、相繼地以閃動的方式刺激視網膜上部附近部位，而產生刺激物在運動的知覺。此種不因刺激物移動而因刺激物連續閃動造成的移動知覺，即是一種錯視性的運動知覺（陳光大，1997）。電影與動畫根據的視覺原理也是一種似動運動，電影以一張靜態影格和一張黑畫面影格連續快速播放，形成連續運動的動態視覺效果。而動畫最初應用的手法，將有連續性動作變化的圖案分別繪於每頁的相同位置，再經由快速的翻動產生連續性的動態圖案。這與 1833 年 Plateau 設計的動景器（zoetrope）（漢寶德、張振益，1999），同樣在連續性的圖像中製作間隔遮蔽效果，來達到似動運動的動態效果。本研究所設計的實驗樣本，即是利用幾何形柱體表面形塑出螺旋狀的連續性線條圖形，做為本研究實驗之作業一引起似動運動的刺激物，再藉由不同邊數的幾何形柱體因旋轉運動而產生的旋轉角度（視覺干擾現象），來形成不同程度的視覺性間隔遮蔽效果，其造形要素所依據的視覺原理同樣是為似動運動。

誘導運動同樣是一種錯視性的運動知覺，是視覺受到實際運動物體刺激，而誘發無真實運動現象的動態錯視運動知覺，這樣的知覺現象是經由實際運動刺激後引發的（Chen & Chang, 2007）。誘導運動主要分為「對象相互間的誘導運動現象」與「形與形之間的誘導運動表現」兩種樣態。「對象相互間誘導運動現象」的產生主要在於物體間的相對運動，知覺物體的動與不動是相對的，一物體之所以被知覺在運動，是與其它物體相互比較而言的，這種被比較的物體稱為運動知覺的「參照系」（frame of reference），此種運動知覺的產生須依賴選擇的參照系而定（Chen, Chang, & Lin, 2008）。「形與形之間的誘導運動表現」與圖地關係的分化現象有直接關係。張智超（2007）研究發現，當連續性的造形（圖形）旋轉時，誘導運動產生明顯以「圖」為主要知覺目標的旋轉現象，使「圖」與「地」發生分化的情形。原因是當「圖」與「地」同時旋轉，而「地」面積大於「圖」時，「地」會因同化現象而產生無旋轉的錯覺，但「圖」則與「地」知覺分離，產生實際旋轉的動態效果，因而形成只知覺「圖」在旋轉的誘導運動。這樣的圖地關係分化現象，會隨著圖地面積差異越大而越加明顯，隨之引發的誘導運動知覺效果也會越好。早期理髮廳的旋轉招牌，其造形即是一種誘導運動圖地關係分化現象的構成法，再加上線條傾斜角度與

方向的相互因素，於旋轉時產生向上延伸或向下移動的錯視現象。本研究所設計的實驗樣本，是利用幾何形柱體表面形塑出螺旋狀的連續性線條圖形，做為本研究實驗之作業二引起誘導運動的刺激物。在誘導運動中屬於「形與形之間的誘導運動表現」樣態，其誘導運動會產生所有連續性線條圖形同步向上爬升的知覺效果。

運動殘像是當我們凝視一做有方向性實際快速運動的物體時，視覺會短暫出現運動殘影或視覺暫留（persistence of vision）的知覺現象。這樣的運動殘影或視覺暫留現象，主因是眼睛看到物體快速運動或空間位移時，會把不同時間點看到的物體影像，分別依序地暫時成像於視網膜上，而這些物體影像會在視網膜上延續或暫留約 0.04-0.06 秒，再經由視神經傳回大腦而知覺到物體運動或位移影像。如該物體仍持續運動或突然停止，視神經對於物體前一刻的影像並不會立即消失，是會繼續暫留約 0.04-0.06 秒，而對剛剛消失的影像產生「依然存在」的視覺錯覺。本研究所設計的實驗樣本，是利用幾何形柱體表面形塑出螺旋狀的連續性線條圖形，做為本研究實驗之作業三引起運動殘像的刺激物。當幾何形柱體快速做持續性的旋轉運動時，柱體表面形塑出螺旋狀的連續性線條圖形，其運動殘像會產生所有連續性線條圖形浮現殘影且模糊的知覺效果。

2-3 動態錯視效果的相關研究

動力學造形中，以圓柱體旋轉運動做為動態錯視效果研究主題的是「barber-pole illusion」，它是種結合實際運動（actual motion）及感知運動（perceived motion）的動力學造形（陳光大，2008）。「Barber-pole illusion」就是早期理髮廳外的圓柱狀旋轉招牌所形成的動態錯視知覺，圓柱狀旋轉招牌實際上是繞著圓柱中心軸旋轉，但圓柱表面相互平行的條紋圖形，看起來卻像是沿著圓柱往上方方向運動，並且條紋圖形並不是被認知在旋轉；而是在移動。條紋圖形在圓柱邊界上的對應點（unique point），其實際運動的方向是垂直於圓柱的長度方向，但可以認知到條紋圖形是沿著圓柱方向運動（Palmer, 1999）。

至目前為止，「barber-pole illusion」是以類似「孔徑問題」（aperture problem）的形式來進行研究，而又以對應點的移動研究最為普遍。Wallach（1935）在「視覺感知的運動」（Über visuell wahrgenommene Bewegungsrichtung）研究中，利用圓形、直式長形及橫式長形三種形狀的孔徑，讓 45° 具相同方位（orientation）之相互平行的斜線，在三種形狀的孔徑中進行由下方朝上方方向運動，但三種形狀知覺到的運動方向，卻分別呈現出朝向垂直於斜線的方向移動；垂直往上的方向移動；水平往左的方向移動等不同方向的運動知覺。之所以會產生不同方向的運動知覺，是因為這三種形狀的孔徑邊界線，分別產生不同數量的對應點，這些對應點提供局部具明確方向的運動訊息，所以當形狀某一邊界線能提供較多的對應點，就容易形成往該邊界線方向運動的知覺（Lorceau & Shiffrar, 1992; Vallortigara & Bressan, 1991）。所以長形孔徑中的長軸因可產生較多對應點，因此形成長軸方向的運動知覺；而圓形孔徑中長短軸產生的對應點約略相等，所以較難提供局部具明確方向的運動訊息，形成的方向運動知覺就有多種可能性。相同概念下，barber-pole 長軸的左右邊界存在較多對應點，雖然上下兩端短軸邊界線對應點，是由旋轉帶動全體對應點由右往左移動，但是往上移動的對應點多於往左移動的對應點，所以整體就會出現由下往上移動的運動知覺（吉村浩一，2006）。

視覺心理學對於 barber-pole illusion 的研究目的，主要是了解眼睛與大腦透過孔徑觀看平面線條移動現象的視覺處理過程或其運動方式。如 Duncan、Albright 和 Stoner（2000）是以心理物理學及神經生理學角度研究孔徑問題；Pack、Gartland 與 Born（2004）則以 barber-pole illusion 來研究 MT 神經元對運動方向的影響；Beutter、Mulligan 與 Stone（1996）、Patterson、Bowd 與 Donnelly（1998）及 Fisher 與 Zanker

(2001) 曾以電腦螢幕做為實驗測試工具，量測不同比例的孔徑、線條角度與運動方向的關係，從他們的實驗方式可發現，視點距離 200mm 所採用實驗樣本都是等間距的線條，或使用的是以平面的斜線圖形為主 (Castet, Charton, & Dufour, 1999)，而非實際柱體表面旋轉的連續性線條圖形，與本研究採用多個不同類型的幾何形柱體之實驗樣本條件有所不同，更與動態錯視效果的表現型態之目的不同。

三、研究方法

本研究實驗包含，作業一：不同類型的幾何形柱體之旋轉性似動運動知覺實驗、作業二：不同類型的幾何形柱體之旋轉性誘導運動知覺實驗、作業三：不同類型的幾何形柱體之旋轉性運動殘像知覺實驗等三項作業。主要目的是欲從轉速閾值界限顯現的角度，觀察不同類型的幾何形柱體變化，是否影響動態錯視效果的表現及三種運動知覺的形成、知覺反應與判別，以及觀察柱體邊數與旋轉轉速間是否具相互關係；柱體邊數、旋轉轉速和三種運動知覺間是否具因果關係。本研究實驗之測量方法、受試者、實驗設備、實驗樣本、實驗設計與程序，分述如下。

3-1 心理物理學的測量方法

「心理物理學」(psychophysics) 是研究物理刺激和心理感覺之間關係的科學，心理物理學中研究心理量和物理量之間對應關係的方法即「心理物理法」(psychophysical method)。心理物理法可藉由閾限(threshold) 測量求得感覺系統與物理刺激之間的關係。當一刺激屬性的刺激值由小逐漸增加時，理論上會達到一個刺激值。若低於此刺激值，受試者不會體驗到該刺激屬性相對應的感覺經驗；即不能感受該刺激存在。若大於該刺激值，受試者則能發現刺激的存在，此刺激值稱為該刺激屬性的感覺閾(sensory threshold)。能夠知覺到的最小刺激能量或這刺激值是引起感覺的一個下限，此刺激值稱為下絕對閾(lower absolute threshold)。若再繼續增加刺激值時，就會達到另一個水準，若刺激高於此水準，受試者便沒有原來的感覺經驗，此刺激值稱為上絕對閾(upper absolute threshold)。而下絕對閾值到上絕對閾值之間的轉速範圍，即為速度閾值(velocity threshold)。當下絕對閾值越小，表示早先知覺到該刺激屬性(運動知覺)；當上絕對閾值越大，表示仍持續不斷知覺到該刺激屬性(運動知覺)；當速度閾值越大，表示動態錯視效果時間越長，成效也較好；反之則時間越短，成效較差。而當一刺激值介於上、下絕對閾之間時，若增加或減少刺激值大小時，受試者恰能發覺在感覺上有所改變，即最小可覺差異(just noticeable difference)，其刺激值的大小即為差異閾(difference threshold) (孟慶茂、常建華，2000)。例如一刺激下絕對閾值為轉速 30rpm，當該刺激強度增加到轉速 450rpm 時，才能在感覺上產生恰好明顯的差異(上絕對閾值)，則此速度閾值為轉速 420rpm。以本研究實驗為例，主要是探討幾何形柱體轉速(rpm) 與運動知覺反應強度之間的對應關係，從心理物理學角度，可以把轉速(rpm) 看作是刺激，運動知覺的反應強度看作是感覺，借助心理物理法來求出之間的規律關係。

心理物理法中有三種測量絕對閾的科學方法，分別為：「定值刺激法」(method of constant stimuli)、「極限法」(method of limits)、「調整法」(method of adjustment) (黃書鴻，2002)。本研究實驗的三項作業是在旋轉性運動的條件下，從轉速閾值界限顯現的角度，量測不同類型的幾何形柱體變化，是否影響動態錯視效果的表現及三種運動知覺的形成、知覺反應與判別，為了讓受試者能直接反應刺激值的大小，故採用調整法。其優點是受試者可直接參與實驗的操作，調節刺激值的大小，使其與標準刺激相等，是適用於測量絕對閾與主觀相等點(point of subjective equality) 及測量差異閾(黃書鴻，2002)。

3-2 受試者

本研究實驗的三項作業之受試者是採「非隨機樣本」(non-probability sample)的「判斷抽樣」(judgment sampling)，即依據實驗目的與條件，選取適合之受試者。本研究共 20 位受試者；男女性各為 10 人，年齡介於 23 至 35 歲之間，視力均正常或矯治後達 1.0 正常視力水準，並經色盲檢測 (ishihara plate) 後無色盲。受試者皆具美術或設計專業背景，有較高頻率接觸造形或美感知覺，對形體、圖形、色彩的感覺程度會有較佳的反應，是有助於本研究獲得較精確的知覺反應。

3-3 實驗設備

1. 數位變頻無線控制系統：採向量控制模式驅動馬達，轉速可由 0rpm 逐漸遞增到 1300rpm，為數位化的實驗設備，能針對受試者反應刺激值做最直接、精準的測量。可避免出現工具效應 (instrumentation effect) (管倖生，2010) 及減少實驗誤差以提高實驗效度與信度。
2. 多功能圓盤固定器：為固定旋轉運動下的幾何形柱體，圓盤為直徑 35cm 之鋁合金輕金屬材質，表面刻有間隔 1cm 之同心圓刻度溝槽，以作為幾何形柱體對準中心點之依據。
3. 無線遙控器：為遠距離操控數位變頻無線控制系統，讓受試者從不同的視點距離觀看幾何形柱體後，對知覺到的動態錯視運動知覺，做出最直接、精準的反應刺激值，以避免出現實驗誤差。

3-4 實驗樣本

本研究實驗的三項作業之樣本是實際具三度空間的幾何形柱體，人們對造形體容易產生大小 (或面積) 量感 (volume) 上的錯覺現象，而量感錯覺現象的產生與造形形態及特徵要素有密切關連性 (楊清田，2001)。因此，為避免這樣的錯覺現象，影響受試者對實驗樣本動態錯視運動知覺的知覺反應。七個實驗樣本，如表 1 的體面積設定：1. 以數學圖學法之計算公式與規則，利用已知外接圓求得圓周內接正多邊形；2. 在觀測距離 1M 的情況下，藉由視角 (visual angle) 之計算公式「 $\theta = 2\arctan(l/2d)$ 」，求得本研究實驗最佳觀看視角為 14 (14.25) 度 (大山正、今井省吾、和氣典二，2000)；3. 再以觀看最佳視角 14 度為基準，藉由替換計算公式「 $\tan(\theta/2) = l/2d$ 」，計算出柱體高度為 25cm，如下頁圖 1 所示；4. 根據劉懿嫻 (2010) 在「幾何形比例偏好實驗研究」中發現，人們對幾何形柱體的長寬比例知覺偏好為 2.3:1，計算出柱體寬度為 11cm。讓各實驗樣本旋轉時，均能有相同的大小 (或面積) 量感知覺，將造形體的量感錯覺現象減至最低。實體樣本則透過 3D 建模軟體 SolidWork 2015 建模後，運用 3D 列印 (3D printing) 技術來製作，避免因採手工製作而出現工具效應 (管倖生，2010)。而柱體表面螺旋狀的連續性線條圖形設定，則依據陳光大 (2008) 在「相關研究」中發現，線條寬度 10mm；角度 15 度的連續性平行螺旋直線條，最具動態錯視效果 (速度閾值最寬廣)。即使用此線條圖形在不同的速度下，仍可持續保持其動態效果，將不是本實驗的控制變項 (柱體表面螺旋線條圖形) 之影響與干擾減至最低。















3-5 實驗設計與程序

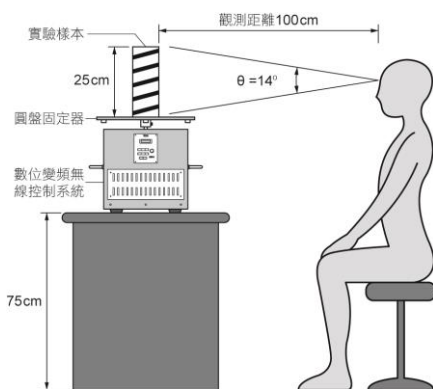
本研究實驗的三項作業之「獨變項」(independent variable) 為七種類型的幾何形柱體，受試者觀看幾何形柱體，所得的三種動態錯視運動知覺之轉速 (rpm) 「下絕對閾值」及「上絕對閾值」為「依變項」(dependent variable)。以從轉速閾值界限顯現的角度，觀察不同類型的幾何形柱體變化，是否影響動態錯視效果的表現及三種運動知覺的形成、知覺反應與判別，以及觀察柱體邊數與旋轉轉速 (rpm)

間是否具相互關係；柱體邊數、旋轉轉速（rpm）和三種運動知覺間是否具因果關係。實驗「採受試者內設計」（within-subjects design），七種類型的幾何形柱體以隨機方式排定實驗次序；以避免排序效應，實驗中為避免疲勞效應，會讓受試者於每個實驗區段之間進行暫時休息。

基於實驗一致性，本研究實驗的三項作業均採「實驗室實驗」（laboratory experimentation），控制環境照明為 750 Lux 的頭頂日光燈；無炫光、反光現象，實驗中隔絕外界聲音並保持安靜，使受試者不受干擾與影響。受試者實驗前先進行視力檢測及色盲檢測，確認視力正常無色盲。正式實驗前，先引導受試者學習使用數位變頻無線控制系統與遙控器，並教導如何觀看及判別柱體表面螺旋狀的連續線條圖形，旋轉時三種運動知覺所呈現的形式及知覺效果，隨後給予每位受試者 5 次的練習區段至熟悉整個實驗流程。正式實驗開始，先對受試者進行指導語說明，說明後詢問是否完全明瞭，如有疑問再加以解說。接著讓受試者坐於實驗樣本前 1M 距離，位置高度為最佳視角 12 至 17 度之間的實驗環境，如圖 1，將已裝置實驗樣本的數位變頻無線控制系統，控制轉速由 0~1300rpm 逐漸遞增，受試者分別針對三種運動知覺所呈現的形式及知覺效果，直接使用遙控器按鍵做轉速反覆上下調整以確認主觀感覺，最後記錄員記錄轉速下絕對閾值及上絕對閾值，實驗完成。

表 1. 七種類型的幾何形柱體樣本

柱體名稱	三角柱體	四角柱體	五角柱體	六角柱體	七角柱體	八角柱體	圓柱體
實體樣本							
圖學法							



視角計算公式：

$$(1) \theta = 2\arctan(l/2d) \quad (2) \tan(\theta/2) = l/2d$$

θ ：視角 d ：視角觀測距離 l ：觀測物

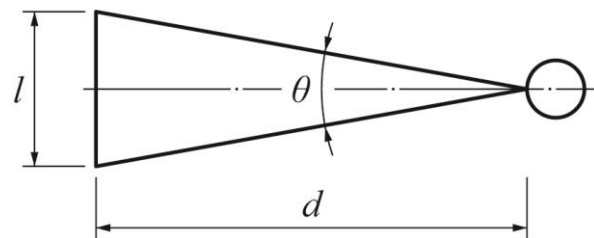


圖 1. 實驗環境示意與視角計算公式圖

四、研究結果與綜合討論

4-1 不同類型的幾何形柱體之旋轉性似動運動知覺實驗

本實驗藉由轉速閾值顯現的角度，觀察六種類型的幾何形柱體變化，是否影響動態錯視效果的表現與似動運動的形成、知覺反應及判別，以及何者是似動運動中動態錯視效果表現與知覺反應最佳的造形體。實驗結果發現，如表 2 所示，隨著幾何形柱體邊數越少，下絕對閾值呈現遞增的趨勢，表示邊數越少會越晚知覺到似動運動；邊數越多則越早知覺到似動運動。上絕對閾值也呈現遞增的趨勢，表示邊數越少越能持續不斷知覺到似動運動，邊數越多則似動運動會越快消失而知覺不到（圓柱體因旋轉時無旋轉角度來形成視覺性間隔遮蔽效果，所以並不會產生似動運動）。速度閾值呈現擴大的趨勢，表示邊數越少動態錯視效果時間越長，成效也較好；邊數越多動態錯視效果時間越短，成效較差，如圖 2 所示。

表 2. 六種類型的幾何形柱體之似動運動轉速閾值統計表（單位：RPM）

幾何形柱體	感覺閾	速度閾	最小值	最大值	平均數	標準差
三角柱	上絕對閾	18.75	63	152	88.35	20.489
	下絕對閾		46	95	69.60	11.550
四角柱	上絕對閾	17.90	53	136	79.50	19.077
	下絕對閾		44	87	61.60	9.816
五角柱	上絕對閾	18.30	49	124	72.00	17.168
	下絕對閾		43	79	53.70	8.646
六角柱	上絕對閾	16.80	46	110	65.20	14.827
	下絕對閾		35	70	48.40	7.451
七角柱	上絕對閾	15.90	44	94	57.90	13.274
	下絕對閾		31	58	42.00	6.497
八角柱	上絕對閾	15.15	35	90	51.20	14.006
	下絕對閾		28	54	36.05	6.533

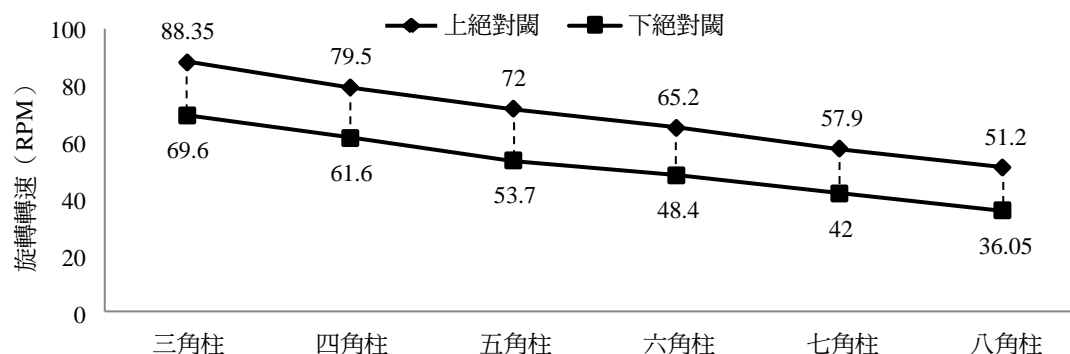


圖 2. 六種類型的幾何形柱體之似動運動轉速閾值界限趨勢圖

而隨著柱體邊數越多，上下絕對閾的標準差均呈現遞減的趨勢，表示受試者對於似動運動的知覺反應與判別趨向集中。這顯示不同類型的幾何形柱體變化，明顯直接影響到似動運動的形成及其動態錯視效果的表現，也間接影響到受試者對於似動運動的知覺反應與判別。而在所有幾何形柱體中，三角柱體下絕對閾值雖然最晚知覺與顯現（69.6rpm），但是其上絕對閾值仍可持續知覺到（88.35rpm）；速度閾值也是時間最長，成效最好的（18.75rpm），因此是似動運動中動態錯視效果表現最佳的造形體。

4-2 不同類型的幾何形柱體之旋轉性誘導運動知覺實驗

本實驗藉由轉速閾值顯現的角度，觀察七種類型的幾何形柱體變化，是否影響動態錯視效果的表現與誘導運動的形成、知覺反應及判別，以及何者是誘導運動中動態錯視效果表現與知覺反應最佳的造形體。從實驗結果中發現，如表 3 所示，隨著幾何形柱體邊數越少，下絕對閾值呈現遞增的趨勢，表示邊數越少會越晚知覺到誘導運動；邊數越多則越早知覺到誘導運動。上絕對閾值則呈現遞減的趨勢，表示邊數越少誘導運動會越快消失而知覺不到；邊數越多則越能持續不斷知覺到誘導運動。速度閾值是呈現縮小的趨勢，表示邊數越少動態錯視效果時間越短，成效也較差；邊數越多動態錯視效果時間越長，成效較好，如圖 3 所示。

表 3. 七種類型的幾何形柱體之誘導運動轉速閾值統計表（單位：RPM）

幾何形柱體	感覺閾	速度閾	最小值	最大值	平均數	標準差
三角柱	上絕對閾	速度閾	116	252	176.25	39.917
	下絕對閾		58	142	82.75	20.639
四角柱	上絕對閾	速度閾	137	268	206.95	40.194
	下絕對閾		49	133	73.80	20.237
五角柱	上絕對閾	速度閾	159	283	228.35	40.032
	下絕對閾		47	118	67.15	16.662
六角柱	上絕對閾	速度閾	186	290	242.75	32.601
	下絕對閾		47	105	62.60	15.091
七角柱	上絕對閾	速度閾	213	306	259.10	26.669
	下絕對閾		44	95	58.00	12.925
八角柱	上絕對閾	速度閾	237	341	275.85	28.426
	下絕對閾		40	74	52.75	10.711
圓柱	上絕對閾	速度閾	254	356	290.85	27.995
	下絕對閾		28	65	44.65	10.584

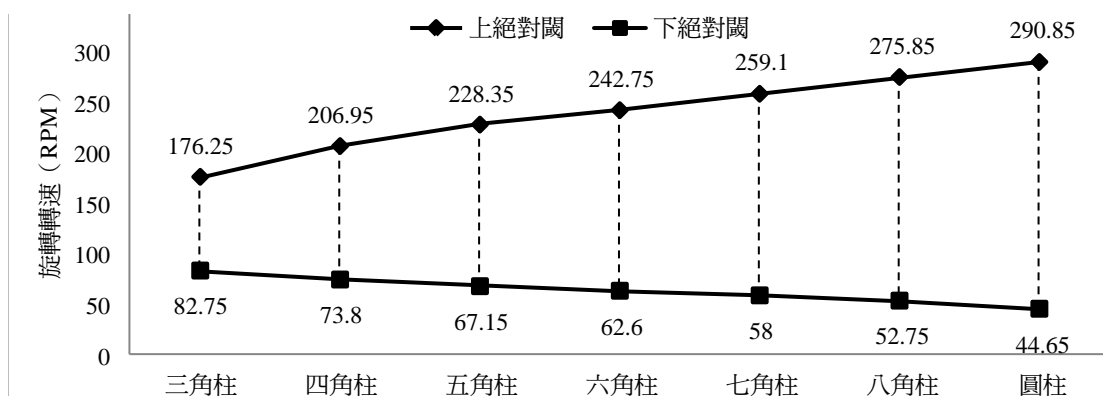


圖 3. 七種類型的幾何形柱體之誘導運動轉速閾值界限趨勢圖

而隨著柱體邊數越多，上下絕對閾的標準差均呈現遞減的趨勢，表示受試者對於誘導運動的知覺反應與判別趨向集中。這顯示不同類型的幾何形柱體變化，明顯直接影響到誘導運動的形成及其動態錯視效果的表現，也間接影響到受試者對於誘導運動的知覺反應與判別。而在所有幾何形柱體中，圓柱體下

絕對閾值最早知覺與顯現 (44.65rpm)，而其上絕對閾值仍可持續知覺到 (290.85rpm)，速度閾值也是時間最長；成效最好的 (246.2rpm)，因此是誘導運動中動態錯視效果表現最佳的造形體。

4-3 不同類型的幾何形柱體之旋轉性運動殘像知覺實驗

本實驗藉由轉速閾值顯現的角度，觀察七種類型的幾何形柱體變化，是否影響動態錯視效果的表現與運動殘像的形成、知覺反應及判別，以及何者是運動殘像中動態錯視效果表現與知覺反應最佳的造形體。因所有幾何形柱體在運動殘像的下絕對閾值顯現後，在轉速持續增加無上限的情況下，其知覺反應與現象會無止盡的持續下去，並不會出現運動知覺消失的臨界點，因此記錄上絕對閾值與速度閾值是不具意義的，所以本研究僅記錄轉速的下絕對閾值。

表 4. 七種類型的幾何形柱體之運動殘像轉速閾值統計表 (單位：RPM)

幾何形柱體	感覺閾	最小值	最大值	平均數	標準差
三角柱	下絕對閾	134	269	191.95	36.906
四角柱	下絕對閾	154	288	219.85	36.338
五角柱	下絕對閾	173	292	241.95	33.067
六角柱	下絕對閾	205	294	257.60	25.174
七角柱	下絕對閾	229	301	271.15	20.914
八角柱	下絕對閾	254	341	292.05	25.685
圓柱	下絕對閾	274	399	315.10	32.807

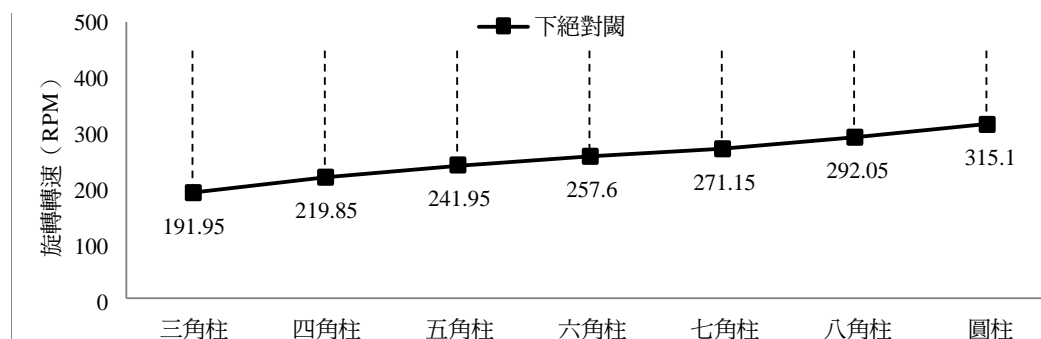


圖 4. 七種類型的幾何形柱體之運動殘像轉速閾值界限趨勢圖

從實驗結果中發現，如表 4 所示，隨著幾何形柱體邊數越少，下絕對閾值呈現遞減的趨勢，表示邊數越少會越早知覺到運動殘像；邊數越多則越晚知覺到運動殘像，如圖 4 所示。而隨著柱體邊數越多，下絕對閾的標準差呈現遞減的趨勢，表示受試者對於運動殘像的知覺反應與判別趨向集中。這顯示不同類型的幾何形柱體變化，明顯直接影響到運動殘像的形成及其動態錯視效果的表現，也間接影響到受試者對於運動殘像的知覺反應與判別。而在所有幾何形柱體中，三角柱體下絕對閾值最早知覺與顯現 (191.95rpm)，因此是運動殘像中動態錯視效果表現最佳的造形體。

4-4 綜合討論

從實驗結果中發現，不同類型的幾何形柱體搭配不同的旋轉轉速，明顯直接影響到三種運動知覺的形成及其動態錯視效果的表現，也間接影響到受試者對於三種運動知覺的知覺反應與判別。因此，本階

段將分析「不同邊數的幾何形柱體」與「旋轉轉速」間的相互關係；「不同邊數的幾何形柱體」、「旋轉轉速」和「三種運動知覺」間的因果關係，以及探討影響動態錯視效果表現的因素為何。

4-4.1 「線條曲折現象」與「線條殘影現象」的形成

本研究在實驗中發現，不同邊數的幾何形柱體在旋轉時，會分別產生不同大小的「旋轉角度」及形成不同面積的「動態虛形體」。旋轉產生的「旋轉角度」，會讓柱體表面的螺旋狀連續性線條圖形產生「線條曲折現象」，也就是旋轉時線條圖形會出現抖動不流暢的樣態，這種樣態表現形成一種視覺干擾，並且隨著幾何形柱體邊數越少，產生的旋轉角度也隨之變大，造成的視覺干擾現象會更加明顯，如表 5 所示。而旋轉形成的「動態虛形體」，則會在柱體周圍形成「線條殘影現象」，也就是旋轉時柱體表面的螺旋狀線條圖形，明顯會在柱體左右兩邊同時出現連續性的線條殘像，這種線條殘像同樣造成一種視覺干擾，同樣隨著幾何形柱體邊數越少，形成的動態虛形體面積亦隨之增加，造成的視覺干擾現象會更加明顯，如表 5 所示。

表 5. 七種類型的幾何形柱體之兩種視覺干擾現象說明表

幾何形柱體視覺干擾現象	三角柱	四角柱	五角柱	六角柱	七角柱	八角柱	圓柱
	120度	90度	72度	60度	52度	45度	0度

在七種類型的幾何形柱體中，三角柱體受到的視覺干擾程度最為嚴重；圓柱體則最不受視覺干擾。主因是三角柱體邊數最少，旋轉角度最大動態虛形體面積也最大，所以產生的線條曲折現象及形成的線條殘影現象最為明顯。而圓柱體因本身圓弧不具邊數與角度的造形特性，並不會產生線條曲折現象及形成線條殘影現象，在所有幾何形柱體中最不受視覺干擾。所以，隨著柱體邊數越多，造形更趨似於圓柱體，旋轉角度會隨之縮小，動態虛形體面積亦隨之減少，受到的視覺干擾程度也就跟著遞減。由上可見，幾何形柱體邊數、旋轉角度與動態虛形體三者之間微妙的連動關係，對於線條曲折現象的產生與線條殘影現象的形成，明顯地具有相當直接的影響關係。即柱體邊數越少，旋轉角度隨之變大，動態虛形體面積也隨之增加，線條曲折現象與線條殘影現象的視覺干擾程度就隨之遞增。反之，柱體邊數越多，旋轉角度隨之變小，動態虛形體面積也隨之減少，線條曲折現象與線條殘影現象的視覺干擾程度就隨之遞減。視覺干擾程度由強到弱的幾何形柱體，依序為三角柱體、四角柱體、五角柱體、六角柱體、七角柱體、八角柱體、圓柱體。

4-4.2 「柱體邊數」與「旋轉轉速」之間的相互關係

不同邊數的幾何形柱體在不同的旋轉轉速下，則分別會對旋轉角度的線條曲折現象及動態虛形體的線條殘影現象，產生不同程度的影響。當柱體邊數少（旋轉角度大，動態虛形體面積大）而轉速趨慢的情況下，這時的線條殘影現象尚未形成，但線條曲折現象已開始顯現中，此時的視覺干擾主要來自線條

曲折現象。同樣當柱體邊數少但轉速趨快的情況下，這時的線條殘影現象已明顯形成，再加上持續加劇的線條曲折現象，此時是來自線條殘影現象及線條曲折現象嚴重的雙重視覺干擾。當柱體邊數多（旋轉角度小，動態虛形體面積小）而轉速趨慢的情況下，這時的線條殘影現象尚未形成，而線條曲折現象也未完全產生，此時的視覺干擾現象是最為輕微的。同樣當柱體邊數多但轉速趨快的情況下，這時的線條殘影現象及線條曲折現象已經形成，雖然同是來自線條殘影現象及線條曲折現象的雙重視覺干擾，但因為柱體邊數多相對於柱體邊數少，其產生的旋轉角度較小，形成的動態虛形體面積也較小，此時的視覺干擾雖然明顯顯現，但不若柱體邊數少，轉速趨快情況來得嚴重。這顯示隨著柱體邊數越少（旋轉角度變大，動態虛形體面積增加）而轉速持續加快的情況下，線條殘影現象會從尚未形成轉趨明顯形成，而線條曲折現象則從未完全產生趨向更嚴重。由此，幾何形柱體邊數（旋轉角度，動態虛形體面積）在不同的旋轉轉速搭配下，兩者對於線條曲折現象與線條殘影現象的形成與強弱，彼此之間具有相互關係。

4-4.3 「柱體邊數」、「旋轉轉速」與三種運動知覺之間的因果關係

經由上述分析可得知，不同邊數的幾何形柱體在不同的旋轉轉速搭配下，會不同程度影響線條曲折現象與線條殘影現象的形成與強弱。經再交叉比對三種運動知覺實驗中，七種幾何形柱體所顯現的上下絕對閾值及速度閾值範圍。本研究發現，幾何形柱體邊數與旋轉轉速之間不同程度的相互搭配，牽動了兩種視覺干擾現象的形成與強弱，這對於三種運動知覺在個別及整體柱體的上下絕對閾值界限與速度閾值範圍顯現，有明顯直接的影響。也就是幾何形柱體與旋轉轉速之間的相互關係，會不同程度影響運動知覺的形成及受試者對於運動知覺的知覺反應與判別，明白顯示兩者與運動知覺存在著因果關係。

在似動運動方面，當柱體邊數越多，轉速由慢持續加快情況下，這時線條殘影現象會從尚未形成轉趨已經形成，線條曲折現象會從未完全產生趨向已經形成。而視覺干擾現象，會從最輕微變成線條殘影現象及線條曲折現象的雙重視覺干擾。此時下絕對閾值是呈現遞減的趨勢，表示邊數越多下絕對閾值越快顯現。所以八角柱體的下絕對閾值最早顯現（36.05rpm），表示受試者最快在八角柱體知覺到似動運動。而此時上絕對閾值也呈現遞減的趨勢，表示邊數越多上絕對閾值也越快顯現。因此八角柱體的上絕對閾值也最早顯現（51.2rpm），表示八角柱體的似動運動知覺時間最短，受試者最快知覺不到也最快消失（如圖 2 所示）。當柱體邊數越少；轉速由慢持續加快情況下，這時線條殘影現象會從尚未形成轉趨已明顯形成，線條曲折現象會從已開始顯現中趨向持續加劇。

此外，本研究在似動運動中發現一個弔詭的現象，即是當邊數越少，轉速持續加快情況下，會有來自線條殘影現象及線條曲折現象嚴重的雙重視覺干擾。此時下絕對閾值呈現遞增的趨勢，而上絕對閾值理應呈現遞減的趨勢，速度閾值呈現縮小的趨勢，但上絕對閾值卻呈現遞增的趨勢，速度閾值呈現擴大的趨勢。顯示邊數越少，上絕對閾值越慢顯現，受試者仍能持續知覺到似動運動並最慢消失，並且其動態錯視效果時間較長，成效較好。

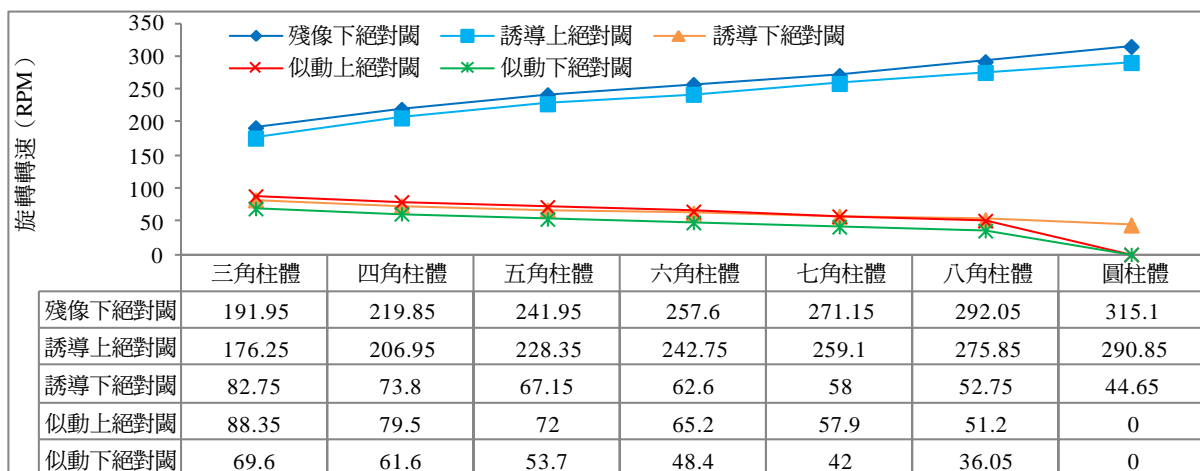
在誘導運動方面，當柱體邊數越多，轉速由慢持續加快情況下，這時線條殘影現象會從尚未形成轉趨已經形成，線條曲折現象會從未完全產生趨向已經形成。而視覺干擾現象，會從最輕微變成線條殘影現象及線條曲折現象的雙重視覺干擾。此時下絕對閾值是呈現遞減的趨勢，表示邊數越多下絕對閾值越快顯現。所以圓柱體的下絕對閾值最早顯現（44.65rpm），表示受試者最快在圓柱體知覺到誘導運動。而此時上絕對閾值是呈現遞增的趨勢，表示邊數越多上絕對閾值越慢顯現。因此圓柱體的上絕對閾值也最晚顯現（290.85rpm），表示圓柱體的誘導運動知覺時間最長，受試者最快知覺到也最慢消失，參考圖 3。當柱體邊數越少，轉速由慢持續加快情況下，這時線條殘影現象會從尚未形成轉趨已明顯形成，線條曲折現象會從已開始顯現中趨向持續加劇。

在運動殘像方面，當柱體邊數越多，轉速由慢持續加快情況下，這時線條殘影現象會從尚未形成轉趨已經形成，線條曲折現象會從未完全產生趨向已經形成。而視覺干擾現象，會從最輕微變成線條殘影現象及線條曲折現象的雙重視覺干擾。此時下絕對閾值是呈現遞增的趨勢，表示邊數越多，下絕對閾值越慢顯現。所以圓柱體的下絕對閾值最晚顯現（315.1rpm），表示圓柱體的運動殘像，受試者最慢知覺到。當柱體邊數越少，轉速由慢持續加快情況下，這時線條殘影現象會從尚未形成轉趨已明顯形成，線條曲折現象會從已開始顯現中趨向持續加劇。

4.4.4 「曖昧性運動知覺場域」與「空窗性運動知覺場域」的顯現

綜合以上實驗數據與分析，三種運動知覺在個別及整體柱體中，所顯現的上下絕對閾值界限與速度閾值範圍，顯示當轉速由慢到快，依序會分別產生似動運動、誘導運動及運動殘像。當轉速由慢持續加快至某個轉速臨界值時，會讓受試者對於運動知覺的知覺反應與判別，從某一知覺狀態轉變到另一知覺狀態。本研究發現，在兩種不同知覺狀態的轉變之間，受試者會在某個轉速區間出現空窗性及曖昧性的知覺反應與判別。

表 6. 七種類型的幾何形柱體之三種運動知覺轉速閾值界限與趨勢對照表



如表 6 所示，隨著柱體邊數越少，轉速由慢加快情況下，似動運動的上絕對閾值與誘導運動的下絕對閾值呈現趨近的態勢，並且開始在六角柱體出現兩種運動知覺上下絕對閾值交叉重疊的現象。這個交叉重疊的轉速區間本研究稱其為「曖昧性運動知覺場域」，隨著柱體邊數越少，轉速持續地加快，所形成的「曖昧性運動知覺場域」會亦趨擴大。而誘導運動的上絕對閾值與運動殘像的下絕對閾值，無論任何邊數的柱體搭配的轉速快或慢，均呈現等量分離的現象，這個等量分離的轉速區間本研究稱其為「空窗性運動知覺場域」。目前對於「曖昧性運動知覺場域」與「空窗性運動知覺場域」的形成關鍵與因素，有待後續本研究進一步加以驗證、分析與釐清。

五、結論與建議

本研究主要是從轉速閾值界限顯現的角度，透過本研究實驗之三項作業的實施，觀察不同類型的動力學造形柱體變化，是否影響動態錯視效果的表現及三種運動知覺的形成、知覺反應與判別。並探討柱

體邊數與旋轉轉速間是否具相互關係，以及柱體邊數、旋轉轉速和三種運動知覺間是否具因果關係。本研究結果發現：

1. 不同邊數的動力學造形柱體在不同轉速搭配下，牽動了「線條殘影現象」與「線條曲折現象」兩種視覺干擾現象的形成與強弱。這直接影響三種運動知覺在個別及整體柱體，上下絕對閾值界限與速度閾值範圍的顯現。
2. 不同邊數的動力學造形柱體與轉速之間的相互關係，會不同程度影響三種運動知覺的形成，以及受試者對於三種運動知覺的知覺反應與判別，明白顯示兩者與三種運動知覺之間存在著因果關係。
3. 三種運動知覺中，誘導運動速度閾值最大，動態錯視效果時間最長；似動運動速度閾值最小，動態錯視效果時間最短。轉速閾值由慢到快，依序會分別產生似動運動、誘導運動及運動殘像。
4. 似動運動中動態錯視效果表現最佳的是三角柱體；誘導運動中動態錯視效果表現最佳的是圓柱體；運動殘像中動態錯視效果表現最佳的是三角柱體。
5. 不同柱體變化搭配不同轉速，受試者會在慢速區間出現「曖昧性運動知覺場域」；快速區間出現「空窗期運動知覺場域」。

本研究是為大研究架構下的階段性研究成果，目前僅以柱體探討動力學造形的動態錯視運動知覺現象，尚無法一窺整體動力學造形所涉及的各種動態錯視運動知覺議題。所以相關研究與實驗並非就此告一段落，反而是進一步探討與分析的開始。所以本研究在大研究架構下的階段性研究任務，主要是先藉由具美術或設計專業背景的受試者，取得較為精確的動態錯視知覺反應數據，以做為後續各階段研究實驗設計之數值參考依據。因此，後續各階段研究實驗將針對「不同類型的動力學造形體變化」、「不同樣式的造形體表面旋轉圖形設計」、「不同形式的表面旋轉圖形色彩搭配」及「不同的視點觀測距離」等議題。探討彼此之間的交互搭配與設計，是否影響動態錯視效果的表現及三種動態錯視運動知覺的知覺反應與判別，並針對「不同背景的受試者」是否在動態錯視運動知覺上有差異性，執行進一步的研究。

誌謝

本研究感謝行政院科技部予以部分經費補助，計畫編號為 MOST 103-2410-H-224-030。

參考文獻

1. Beutter, B. R., Mulligan, J. B., & Stone, L. S. (1996). The barber plaid illusion: Plaid motion is biased by elongated apertures. *Vision Research*, 36(19), 3061-3075.
2. Castet, E., Charton, V., & Dufour, A. (1999). The extrinsic/intrinsic classification of two-dimensional motion signals with barber-pole stimuli. *Vision Research*, 39(5), 915-932.
3. Chen, G. D., & Chang, C. C. (2007). A study about the induced motion of the rotative speed and the caliber of strand. *Proceedings of Conference on Asia Society of Basic Design and Art in Tsukuba 2007*. Ibaraki, Japan: Japan Society of Basic Design and Art.
4. Chen, G. D., Chang, C. C., & Lin, P. C. (2008). A study on the induced motion of the rotative speed and

- the width of line. *ISSUE of Basic Design and Art*, 16, 19-22.
5. Duncan, R. O., Albright, T. D., & Stoner, G. R. (2000). Occlusion and the interpretation of visual motion: Perceptual and neuronal effects of context. *Journal of Neuroscience*, 20(15), 5855-5897.
 6. Fisher, N., & Zanker, J. M. (2001). The directional tuning of the barber-pole illusion. *Perception*, 30(11), 1321-1336.
 7. Lorenceau, J., & Shiffrar, M. (1992). The influence of terminators on motion integration across space. *Vision Research*, 32(2), 263-273.
 8. Pack, C. C., Gartland, A. J., & Born, R. T. (2004). Integration of contour and terminator signals in visual area mt of alert macaque. *Journal of Neuroscience*, 24(13), 3268-3280.
 9. Palmer, S. E. (1999). *Vision science*. Cambridge, MA: MIT Press.
 10. Patterson, R., Bowd, C., & Donnelly, M. (1998). The cyclopean (stereoscopic) barber pole illusion. *Vision Research*, 38(14), 2119-2125.
 11. The Math Forum Drexel University & Wolk-Stanley, J. (2004). *Dr. Math introduces geometry: Learning geometry is easy! Just ask Dr. Math!* New York, NY: Jossey-Bass.
 12. Vallortigara, G., & Bressan, P. (1991). Occlusion and the perception of coherent motion. *Vision Research*, 31(11), 1967-1978.
 13. Wallach, H. (1935). Über visuell wahrgenommene Bewegungsrichtung. *Psychologische Forschung*, 20(1), 325-380.
 14. Zeki, S. M. (1974). Functional organization of a visual area in the posterior bank of the superior temporal sulcus of the macaque monkey. *Journal of Physiology*, 236(3), 549-573.
 15. Zeki, S. M. (1978). Functional specialization in the visual cortex of the rhesus monkey. *Nature*, 274, 423-428.
 16. Zeki, S. M. (1999). *Inner vision: An exploration of art and the brain*. London, England: Oxford University Press.
 17. 大山正、今井省吾、和気典二 (2000)。新編・感覚知覚心理学ハンドブック。東京：誠信書房。
Oyama, T., Imai, S., & Wake, T. (2000). *New. Sensory perception psychology handbook*. Tokyo: Seishin Shobo Ltd. [in Japanese, semantic translation]
 18. 吉村浩一 (2006)。運動現象のタキソノミー心理学は“動き”をどう捉えてきたか。東京：ナカニシヤ。
Yoshimura, K. (2006). Taxonomy of movement phenomenon- What has attracted psychology "movement". Tokyo: Nakanishiya Ltd. [in Japanese, semantic translation]
 19. 星加民雄 (2006)。動きの錯視の近距離表現における最適理論値とその効果の検証及び遠距離表現への活用。基礎造形, 15, 23-28。
Hoshika, T. (2006). Inspection of the visual effects by motion-illusion on the most effective expression elements at a close distance and application in a long distance. *ISSUE of Basic Design and Art*, 15, 23-28. [in Japanese, semantic translation]
 20. 椎名健 (1995)。錯視の心理。東京：講談社。
Shiina, K. (1995). *Psychology of illusion*. Tokyo: Kodansha Ltd. [in Japanese, semantic translation]
 21. 福井晃一 (1978)。デザイン小辞典。東京：ダヴィッド社。
Fukui, K. (1978). *Design small dictionary*. Tokyo: David publication. [in Japanese, semantic translation]

22. 齋藤二郎 (1992)。 *機構学のアプローチ*。東京：大河。
Satio, J. (1992). *Mechanisms approach*. Tokyo: Taiga publication. [in Japanese, semantic translation]
23. 孟慶茂、常建華 (2000)。 *心理實驗學*。台北市：心理。
Meng, Q. M., & Chang, J. H. (2000). *The study of psychological experiments*. Taipei: Psychological Publishing. [in Chinese, semantic translation]
24. 陳光大 (1997 年 5 月)。運動造形的運動形態之研究。1997 基本設計研討會論文集 (頁 D55-64)。台中市：中華民國設計學會。
Chen, G. D. (1997, May). The study on movement patterns of motion form. *Proceedings of Conference on Basic Design 1997* (pp. D55-64). Taichung City: Chinese Institute of Design [in Chinese, semantic translation]
25. 陳光大 (2003a)。 *運動知覺在動態造形中的實踐與應用*。行政院國家科學委員會專題研究成果報告 (編號：NSC91-2411-H-168-001)。台南市：崑山科技大學。
Chen, G. D. (2003a). *The research on the relative to perception of movement and motion forms*. National Science Council research report (No. NSC91-2411-H-168-001). Tainan City: Kun Shan University. [in Chinese, semantic translation]
26. 陳光大 (2003b)。 *運動構成的體系建立與實踐*。台北市：全華。
Chen, G. D. (2003b). *Theory and application of motion construction design*. Taipei: Chuan Hwa Book. [in Chinese, semantic translation]
27. 陳光大 (2008)。 *動力學造形中螺旋柱圖形的動態錯視效果* (未出版博士論文)。國立台灣科技大學，台北市。
Chen, G. D. (2008). *The study of kinetic art dynamic optical illusion on column with spiral pattern*. (Unpublished doctoral dissertation). National Taiwan University of Science and Technology, Taipei. [in Chinese, semantic translation]
28. 陳光大、林志煒、范熙文 (2014 年 11 月)。動力學造形在動態錯視中關於旋轉圖形之運動知覺研究初探。2014 亞洲基礎造形論壇暨研討會論文集 (頁 195-203)。雲林縣：中華民國基礎造形學會。
Chen, G. D., Lin, C. W., & Fan, H., (2014, Nov). The Study of Motion Perception of Kinetic Art Dynamic Optical Illusion on Rotate Pattern. *Proceedings of Forum and Conference on Basic Design and Art 2014* (pp.195-203). Yunlin: Taiwan Society of Basic Design and Art. [in Chinese, semantic translation]
29. 陳瀚凱、林品章 (2004)。視覺動勢之視覺原則與其在視覺傳達設計上的應用探討。 *藝術學報*, 74, 81-98。
Chen, H. K., & Lin, P. C. (2004). A study of applying visual principles of visual movement in visual communication design. *Journal of National Taiwan College of Arts*, 74, 81-98. [in Chinese, semantic translation]
30. 張建成、呂靜修 (譯) (1996)。 *設計基礎* (原作者：Wallschlaeger, C., & Busic-Snyder, C.)。台北市：六合。(原著出版年：1992)
Chang, C. C., & Lu, C. H. (trans.). (1996). *Basic visual concepts and principles*. (Original author: Wallschlaeger, C., & Busic-Snyder, C.) Taipei: Liu Ho Co. (Original work published 1992). [in Chinese, semantic translation]
31. 張智超 (2007)。 *誘導運動結合圖地反轉的造形研究* (未出版碩士論文)。崑山科技大學，台南市。
Chang, C. C. (2007). *An investigation about the combination of induced motion and reversible figure*

- (Unpublished master's thesis). Kun Shan University, Tainan, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
32. 黃書鴻 (2002)。運動呈現效果與主觀速率判斷的關係 (未出版碩士論文)。國立交通大學, 新竹市。
- Huang, S. S. (2002). *Motion presentation effects and the subjective velocity judgment* (Unpublished master's thesis). National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
33. 楊語芸 (譯) (1994)。心理學 (原作者: Darley, J. M., Glucksberg, S., & Kinchla, R. A.)。台北市: 桂冠。(原著出版年: 1991)
- Yang, Y. Y. (trans.). (1994). *Psychology*. (Original author: Darley, J. M., Glucksberg, S., & Kinchla, R. A.) Taipei, Lauréat Publications. (Original work published 1991). [in Chinese, semantic translation]
34. 楊清田 (2001)。包裝瓶器的量感錯視研究—角柱瓶與圓柱瓶的比較。藝術學報, 67, 17-32。
- Yang, C. T. (2001). A study of the optical illusion of the packaging containers' volume- A comparison between the prismatic bottles and cylinder bottles. *Journal of National Taiwan College of Arts*, 67, 17-32. [in Chinese, semantic translation]
35. 漢寶德、張振益 (1999)。科技與人文的對話。台北市: 雄獅美術。
- Han, B. D., & Chang, C. Y. (1999). *The dialogue of technology and humanities*. Taipei: Lion Art. [in Chinese, semantic translation]
36. 管倖生 (主編) (2010)。設計研究方法。新北市: 全華。
- Guan, S. S. (ed.). (2010). *Design research methods*. New Taipei City: Chuan Hwa Book. [in Chinese, semantic translation]
37. 劉英茂 (1980)。基本心理歷程。台北市: 大洋。
- Liu, Y. M. (1980). *Basic psychological process*. Taipei: Da Yang Publication. [in Chinese, semantic translation]
38. 劉懿嬋 (2010)。幾何圖形比例偏好研究 (未出版碩士論文)。國立雲林科技大學, 雲林縣。
- Liu, Y. H. (2010). *The research of preference for ratio of geometry shapes* (Unpublished master's thesis). National Yunlin University of Science and Technology, Yunlin, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
39. 藝風堂編輯部 (譯) (1992)。視覺設計概論 (原作者: 高橋正人)。台北市: 藝風堂。(原著 1965 年出版)
- Yi Fong Tang Publisher Editorial Department (trans.). *Principles of visual communication*. (Original author: Takahashi, M.) Taipei: Yi Fong Tang publisher. (Original work published 1965) [in Chinese, semantic translation]
40. 瞿錦春、張芬芬 (譯) (2006)。視覺心理學 (原作者: Gregory, R. L.)。台北市: 五南。(原著出版年: 1997)
- Qu, J. C., & Chang, F. F. (trans.). (2006). *Eye and brain*. (Original author: Gregory, R. L.) Taipei: Wu-Nan Book. (Original work published 1997) [in Chinese, semantic translation]

Motion Perception on Column of Rotational Dynamic Illusion in Kinetic Art

Guang-Dah Chen^{*} Chih-Wei Lin^{**} Hsiwen Fan^{***}

Department of Digital Media Design, National Yunlin University of Science and Technology

* gd196478@yahoo.com.tw

*** tncelny30061991@hotmail.com

Graduate School of Design, National Yunlin University of Science and Technology

** copy1.copy2@msa.hinet.net

Abstract

The study approaches the perspective from the theory of visual perception and the adjustment technique in psychophysical method to discuss the causal relationship between dynamics optical illusion of motion perception and rotational speed from the perspective of 3 tasks show the speed threshold limit. The study found that different number of edges in column shape would influence the formation and strength of two visual interferences at different speeds. This directly affects three motion perception of the individual and all of the column, and further the effect of upper and lower absolute speed threshold and the range of threshold. In three different motion perceptions, the threshold of the induced movement is maximum and the threshold of the apparent movement is minimum. The induced movement of dynamic visual illusion is longest and the apparent movement is shortest. From slow to fast speed threshold, the motion perception will appear apparent movement, induced movement and movement afterimage in the order. The best performance in the apparent movement is triangular column; the best performance in the induced movement is cylinder and the best performance in the movement afterimage is triangular column. Finally, the experiments subjects will appear "the ambiguity motion perception field" in the slow zone and "the window period of motion perception field" in the rapid zone in different columns and speeds.

Keywords: Kinetic Art, Motion Illusions, Apparent Movement, Induced Movement, Movement Afterimage.